



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 58 473 A 1

61 Int. Cl. 7:  
C 23 C 16/453  
C 23 C 14/22

21 Aktenzeichen: 199 58 473.7  
22 Anmeldetag: 4. 12. 1999  
43 Offenlegungstag: 7. 6. 2001

DE 199 58 473 A 1

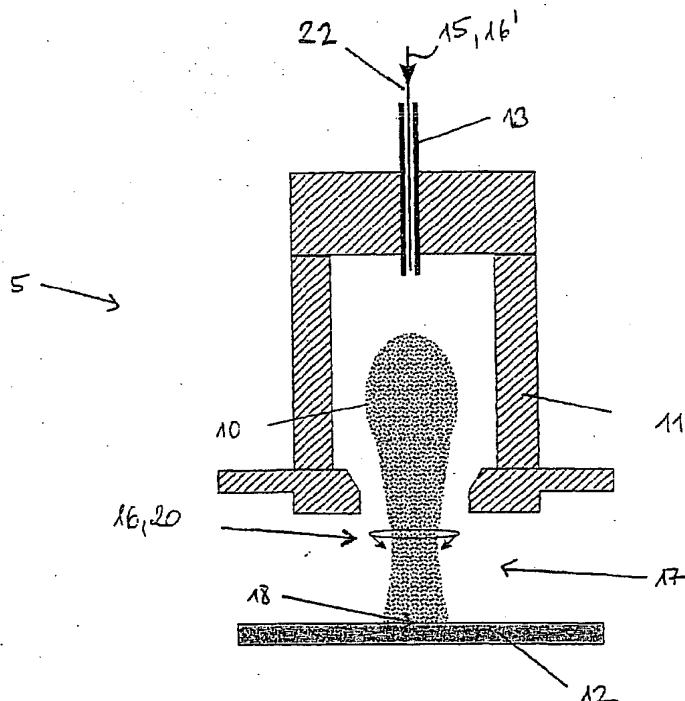
71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Grosse, Stefan, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Voigt,  
Johannes, Dr., 71229 Leonberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Herstellung von Kompositschichten mit einer Plasmastrahlquelle

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Funktionsbeschichtung (18), insbesondere von Kompositschichten oder Metallegierungen, auf einem Substrat (12) unter Verwendung mindestens einer im Feinvakuum bis zum atmosphärennahen Druckbereich betreibbaren Plasmastrahlquelle (5) vorgeschlagen. Die Plasmastrahlquelle (5) erzeugt dazu ein Plasma (10), das in Form eines Plasmastrahles (17) aus der Plasmastrahlquelle (5) austritt und auf ein Substrat (12) einwirkt. Dem Plasma (10) werden dabei weiter mindestens zwei Precursor-Materialien (16, 16') zugeführt, die in dem Plasmastrahl (17) modifiziert oder aufgeschmolzen und danach auf dem Substrat (12) abgeschieden werden.



DE 199 58 473 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung von Kompositschichten mit einer Plasmastrahlquelle nach der Gattung des Hauptanspruchs.

## Stand der Technik

In vielen Industriezweigen besteht ein steigender Bedarf an dünnen, harten Schichten mit definierten physikalischen und chemischen Eigenschaften, die Bauteile oder Oberflächen von Werkstoffen vor Verschleiß oder Korrosion schützen sollen. Typische bekannte Schichten bestehen aus einer oder mehreren Lagen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen, Qualitätsmerkmalen und Funktionalitäten.

Bei bekannten Plasmaspritzverfahren werden dazu im Grobvakuum bis hin zum atmosphärennahen Druckbereich bisher pulverförmige, mikroskalige Partikel in eine Plasmastrahlquelle oder einen Plasmastrahl eingeführt, dort angeschmolzen und teilweise verdampft, und dann mit hoher Geschwindigkeit gerichtet auf ein Substrat plattiert. Damit werden mit relativ hohen Abscheideraten Schichten mit unterschiedlichen Funktionalitäten abgeschieden, die jedoch nicht die Homogenität und Kompaktheit von typischen PACVD-Schichten (physically aided chemical vapour deposition) oder CVD-Schichten erreichen. Die Vorteile des Plasmaspritzens liegen andererseits in der stark lokalisierbaren Beschichtung und hohen Abscheideraten.

Die Erzeugung des Plasmastrahles beim Plasmaspritzen erfolgt üblicherweise mit Gleichspannung, Neuentwicklungen mit induktiver Hochfrequenzeinkopplung sind jedoch ebenfalls bereits bekannt. Letztere haben den Vorteil, daß die eingeführten Pulverpartikel eine längere Verweildauer in dem Plasmastrahl haben und damit stärker aufgeschmolzen werden.

So ist aus E. Pfender und C. H. Chang, "Plasma Spray Jets and Plasma-Particulate Interaction: Modelling and Experiments", Tagungsband des VI. Workshop Plasmatechnik, TU Ilmenau, 1998, bekannt, in einer Plasmastrahlquelle über außen anliegende hochfrequente Wechselströme und eine induktive Hochfrequenzeinkopplung mit einer Spule in einem topfförmigen zylindrischen Brennerkörper ein Plasma zu erzeugen, das in Form eines Plasmastrahles aus der Plasmastrahlquelle austritt. Weiter ist daraus bekannt, als Plasmasgas Helium, Argon oder Sauerstoff einzusetzen, dem weiterhin ein metallisches Pulver zugesetzt sein kann, so daß, analog dem bekannten Plasmaspritzen, ein oberflächliches Anschmelzen dieser Partikel im Plasmastrahl erfolgt, die dann außerhalb der Plasmaquelle auf einem Substrat abgeschieden werden.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist zunächst die hohe Rauigkeit und geringe mechanische Festigkeit der abgeschiedenen Schichten, was im wesentlichen darauf beruht, daß die zugeführten Pulverpartikel in dem Plasmastrahl aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Strahls nur kurze Zeit den hohen Plasmatemperaturen von teilweise mehr als 9000 K ausgesetzt sind, so daß sie nicht vollständig aufgeschmolzen, sondern oberflächlich lediglich angeschmolzen werden. Insbesondere findet kein Aufschmelzen und Auseinanderbrechen der zugeführten Partikel auf atomares bzw. molekulares Niveau oder auf die Ebene nanoskaliger Cluster statt. Als dünne Verschleißschichten oder Hartstoffschichten mit Schichtdicken von einigen Mikrometern sind derartige Schichten somit vielfach ungeeignet. Weiterhin ist die Zusammensetzung der derart abgeschiedenen Schichten bisher im wesentlichen auf Metalle und Metalloxide beschränkt.

Weiter ist bekannt, dünne und hochwertige Verschleiß-

und Korrosionsschutzschichten aus der Gasphase im Hochvakuum mit PACVD-Prozessen ("physically aided chemical vapour deposition") oder PVD-Prozessen ("physical vapour deposition") abzuscheiden. PACVD- und CVD-Verfahren zeichnen sich durch qualitativ hochwertige, dichte, kompakte und homogene Schichten aus. Die Abscheiderate ist jedoch gering, da die Abscheidung durch atomares Wachstum erfolgt.

In S. Veprek, "Theoretisches Konzept für Design und praktische Darstellung neuartiger, thermodynamisch stabiler, superharter Kompositmaterialien", Statusseminar "Oberflächen- und Schichttechnologien", Würzburg, VDI-Technologiezentrum, 1997, Band 1, S. 27 und 28, wurde schließlich auf der Grundlage theoretischer Überlegungen vorgeschlagen, mit Hilfe eines Plasma-CVD- oder eines Plasma-PVD-Verfahrens neue superharte Schichten auf Substraten, insbesondere Stahlsubstraten, abzuscheiden. Diese Materialien werden durch Kombination eines nanokristallinen, harten Übergangsmetallnitrids  $Me_nN$  mit amorphem  $Si_3N_4$  erzeugt. Die Abscheidung erfolgt bei 500°C bis 550°C. Weitere Details zu diesem Konzept werden in S. Veprek et al., Appl. Phys. Lett., 66, (1995), S. 2640 ff. vorgestellt.

Durch diese nanokristallinen Materialien in amorpher Matrix soll nach theoretischen Berechnungen teilweise die Härte von Diamant erreicht werden können.

## Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit die bisher bestehende Lücke zwischen PACVD-Prozessen und Plasmaspritzprozessen geschlossen und gleichzeitig die Erzeugung innovativer Schichtsysteme und Materialien ermöglicht wird.

Im einzelnen wird dazu mit einer Plasmastrahlquelle in einer neuartigen Prozeßführung im Feinvakuum bis hin zum atmosphärennahen Druckbereich ein gerichteter, lokaler Beschichtungs- bzw. Abscheideprozeß auf einem Substrat ermöglicht, wobei die die Schicht bildenden Spezies (Precursoren) der Plasmastrahlquelle bzw. dem Plasma in Form von Gasen, Flüssigkeiten oder Pulvern zugeführt werden.

So werden einerseits feste Precursor-Materialien in Form von Nanopartikeln, nano- oder mikroskaligen Pulvern oder Suspensionen der Plasmastrahlquelle zugeführt, die in dem Plasmastrahl je nach Verweildauer im Plasma bzw. je nach Ausgangsgröße der zugeführten Teilchen bzw. Pulverpartikel aufgeschmolzen, verdampft oder aufgebrochen werden, so daß einzelne Atome, Moleküle oder nano- bis mikroskalige Cluster bzw. Teilchen entstehen, die dann gerichtet und mit hoher Geschwindigkeit auf das zu beschichtende Substrat auftreffen. Gleichzeitig können dabei neben festen Precursor-Materialien auch gasförmige und/oder flüssige Precursor-Materialien in den Abscheideprozeß eingebracht werden.

Durch die Mischung unterschiedlicher Precursor-Materialien ist somit die Erzeugung neuartiger Materialien und Schichtsysteme möglich, wobei die Auswahl der verschiedenen Precursor-Materialien insbesondere derart erfolgt, daß diese in der Plasmastrahlquelle in unterschiedlicher Weise angeregt, aufgeschmolzen und/oder verdampft werden. Dies kann beispielsweise durch die Auswahl chemisch unterschiedlicher Precursor-Materialien, eine unterschiedliche Art der Zuführung der Precursor-Materialien in das Plasma sowie einen unterschiedlichen Ort ihrer Zuführung in den Abscheideprozeß bzw. das Plasma erreicht werden. Darüber hinaus können sich die eingesetzten Precursor-Ma-

terialien auch in ihrer Teilchengröße unterscheiden.

Insgesamt wird dadurch die Höhe und die Art des Energietransfers auf die zugeführten Teilchen bzw. Precursor-Materialien in dem Plasma gezielt beeinflusst, und es stellen sich unterschiedliche Anregungsgrade dieser zugeführten Spezies aufgrund unterschiedlicher Aufenthaltsdauern in heißeren oder kälteren Zonen des erzeugten Plasmas bzw. des sogenannten "Afterglows" ein.

Somit sind beispielsweise Schichtsysteme in Form von Kompositen darstellbar, die aus einer Mischung verschiedener Materialien bzw. Gefügeständen bestehen, insbesondere einer Matrixstruktur und mindestens einer Einlagerung.

Der Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht demnach in der Darstellung von neuen Kompositschichtsystemen durch Verwendung von unterschiedlichen Precursor-Materialien in einer Plasmastrahlquellen mit definiert einstellbaren Prozeßbedingungen, so daß die verschiedenen, aufeinander abgestimmten Precursor-Materialien unterschiedlich prozessiert werden können. Damit hat man die Möglichkeit, neue, qualitativ hochwertige, teilweise harte bis superharte Schichtsysteme mit einstellbaren Eigenschaftsprofilen erzeugen zu können, wobei ein besonders wichtiger Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens dessen Vielseitigkeit hinsichtlich der Abscheidung unterschiedlichster Schichtsysteme ist.

Daneben handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren um ein Verfahren mit gegenüber PACVD-Verfahren geringerem oder in speziellen Fällen sogar keinem Aufwand für die Vakuumtechnik, da ein Fein- oder Grobvakuum oder vielfach sogar der atmosphärennahe Druckbereich ausreichend ist. Gleichzeitig werden die typischerweise hohen Gas- oder Partikelaustrittsgeschwindigkeiten von Plasmastrahlquellen genutzt, um einen effektiven Strom an Precursor-Material auf die zu beschichtende Oberfläche zu bringen, wodurch gegenüber CVD- oder PACVD-Verfahren deutlich höhere Schichtwachstumsraten erzielt werden.

Weiterhin ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren über eine Kombination verschiedener Precursor-Materialien auch die Abscheidung amorpher metallischer Legierungen, die in kristalliner Form nicht herstellbar sind, sowie neuartiger keramischer oder metall-keramischer Verbindungen. Zudem sind durch den Einsatz mehrerer Precursor-Materialien mit unterschiedlichen Verdampfungs- und Schmelztemperaturen auch anderer innovative Metalllegierungen darstellbar.

Insbesondere ist es nunmehr möglich, nanokristalline Partikel wie nanokristalline Metallnitride in eine amorphe, kohlenstoff- oder kohlenwasserstoffhaltige Matrixschicht einzubetten, wobei Schichteigenschaften und Schicht härten erzielt werden, die bisher lediglich auf theoretischen Berechnungen basierten, da ein dazu geeignetes Herstellungsverfahren nicht bekannt war. Speziell sind mit dem erfindungsgemäßen Verfahren jetzt auch Materialien erzeugbar, bei den das reaktive Element nicht in beiden Phasen, d. h. in den Einlagerungen und der umgebenden Matrix wie im Fall von TiN in Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, enthalten ist.

Zudem ist man bei den eingesetzten Prozeßtemperaturen nun nicht mehr auf ein enges Temperaturfenster beschränkt, in dem beispielsweise ein thermodynamisches Gleichgewicht zugunsten der Bildung nanoskaliger Komposite anstelle der Bildung einer homogenen Legierung aus Einlagerungswerkstoff und Matrixwerkstoff vorliegt.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen.

So kann zur Vermeidung von Kontaminationen und Abscheidungen sowie zur Verminderung der thermischen Belastung des Brennerkörpers und zur besseren Fokussierung des erzeugten Plasmastrahles innerhalb der Plasmastrahl-

quelle dem Brennerkörper zusätzlich ein das erzeugte Plasma zylindrisch umgebendes Hüllgas wie beispielsweise Wasserstoff oder Argon zugeführt werden.

Darüber hinaus können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Plasmastrahlquellen eingesetzt werden, die bei einem Druck von 10<sup>-4</sup> mbar bis zu 1,5 bar im Prozeßraum arbeiten, wobei das Plasma auf verschiedenste, jeweils an sich bekannte Weise, beispielsweise über eine Gleichstromanregung, eine hochfrequente Wechselstromanregung, eine Mikrowellenanregung oder eine Anregung mit unipolaren oder bipolaren Spannungspulsen gezündet und aufrechterhalten werden kann.

Zudem ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nun möglich, unterschiedliche Schichtsysteme durch Veränderung der Schichtzusammensetzungen und/oder durch Variation der Schichtzusammensetzung als Funktion der Zeit herzustellen bzw. als Funktionsbeschichtung auf einem Substrat abzuschneiden. So kann beispielsweise über eine zeitliche Veränderung der Zusammensetzung der Precursor-Materialien in dem Plasma auch eine Abfolge von Teilschichten abgeschieden werden, die einen kontinuierlichen Übergang in der Materialzusammensetzung der Teilschichten aufweisen, und die beispielsweise aus einer Abfolge von Schichten aus Metallsiliziden, Carbiden, Oxiden, Nitriden, Boriden, Sulfiden, amorphem bis hin zu kristallinen Kohlenwasserstoff bzw. Kohlenstoff, Siliziumwasserstoff oder aus einer Mischung dieser Materialien bestehen.

Besonders vorteilhaft ist dabei, daß diese Abscheidung über einen weiten Temperaturbereich und auch insbesondere bei niedrigen Temperaturen erfolgen kann.

Weiterhin sind Schichten oder eine Abfolge von Schichten erzeugbar, die aus Einlagerungen von Metallsiliziden, Metallcarbiden, Metalloxiden, Metallnitriden, Metallboriden, Metallsulfiden, Bornitriden oder entsprechenden Siliziumverbindungen in Matrices aus amorphem Kohlenstoff, amorphen Metallen, amorphen keramikartigen Stoffen wie BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, oder aus einer Mischung dieser Materialien bestehen.

Auch die Darstellung von Schichten oder Schichtsystemen mit unterschiedlicher Morphologie und damit unterschiedlicher Eigenschaften selbst bei gleicher Materialzusammensetzung ist durch geeignete Wahl der Prozeßparameter möglich. Hierfür entscheidend sind die Menge der zugeführten Precursor-Materialien und deren Korngrößen sowie der Prozeßdruck und die Art, Zusammensetzung und Menge der zusätzlich zugeführten Gase (Injektorgas, Hüllgas, Zentralgas). Durch Wahl dieser Parameter sind amorphe, nano-, mikro bis hin zu größer kristalline Phasen in den Kompositschichten darstellbar.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Möglichkeit, dieses zumindest zeitweilig mit einem an sich bekannten, separat ansteuerbaren CVD-, PVD- oder PACVD-Verfahren zu kombinieren, um damit Kombinationschichten abzuschneiden. Dabei kann einerseits ein kontinuierlich betriebener CVD-, PVD- oder PACVD-Prozeß zeitweilig mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kombiniert werden, andererseits kann aber auch das erfindungsgemäße Verfahren kontinuierlich betrieben werden, und diesem dann zumindest zeitweilig der CVD-, PVD- oder PACVD-Prozeß zugeschaltet werden. Auch der zyklische Einsatz beider Verfahren ist möglich.

Auf diese Weise kann weiter auf einem Substrat beispielsweise über einen an sich bekannten PACVD-Prozeß auch eine insbesondere amorphe Schicht als Matrixschicht abgeschieden werden, in die durch zyklisches Zuschalten des erfindungsgemäßen Verfahrens zusätzlich nanoskalige Partikel oder Kristallite eingebettet werden. Hierzu werden die zu beschichtenden Substrate bevorzugt zyklisch, beispielsweise

weise durch Anordnung auf einem rotierbaren Träger, nacheinander an beispielsweise mindestens einer PACVD-Quelle und mindestens einer Plasmastrahlquelle vorbeigeführt, während die unterschiedlichen Quellen jeweils kontinuierlich arbeiten.

#### Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Plasmastrahlquelle zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 2 eine modifizierte Plasmastrahlquelle mit veränderter Gasführung.

#### Ausführungsbeispiele

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich eine aus E. Pfender und C. H. Chang, "Plasma Spray Jets and Plasma-Particulate Interaction: Modelling and Experiments", Tagungsband des VI. Workshop Plasmatechnik, TU Ilmenau, 1998, bekannte Plasmastrahlquelle 5.

Dieser Plasmastrahlquelle 5 mit einem zylindrischen Brennerkörper 11 wird gemäß Fig. 1 über eine Zuführung 13 und eine zylindrische Hülse 14 ein Injektorgas 15 axial zugeführt. Mit dem Injektorgas 15 kann dabei optional auch ein Precursor-Material 16' zugeführt werden. In dem Brennerkörper 11 wird weiter über eine elektromagnetische Kopplung durch nicht dargestellte, an sich bekannte Bauteile ein Plasma 10 gezündet und kontinuierlich betrieben, welches in Form eines Plasmastrahles 17 aus dem Brennerkörper 11 der Plasmastrahlquelle 5 austritt. Der Brennerkörper 11 hat eine typische Höhe von ca. 10 cm. Der Plasmastrahl 17 trifft weiter in einer Entfernung von typischerweise ca. 10 cm bis 100 cm auf ein Substrat 12 wie Stahl auf, um dort eine Schicht oder ein Schichtsystem als Funktionsbeschichtung 18 abzuscheiden.

Weiterhin ist optional vorgesehen, ein Zentralgas 22 zentral innerhalb der Hülse 14 zuzuführen. Außerdem ist eine Gaszufuhr 21 in Form einer Gasdusche zur optionalen konzentrischen Einleitung eines Hüllgases 19 in den Brennerkörper 11 vorgesehen. Das Hüllgas 19 wird dazu außerhalb der Hülse 14 derart eingeleitet, daß es eine unerwünschte starke Aufheizung oder Beschichtung der Innenwände des Brennerkörpers 11 vermeidet. Darüber hinaus kann optional auch dem Hüllgas 19 ein Precursor-Material beigemischt sein.

Die Fig. 2 zeigt eine Modifikation der Bauweise der Plasmastrahlquelle 5, wobei auf die Einleitung eines Hüllgases 19 und die Verwendung der Hülse 14 verzichtet wurde. In Fig. 2 wird dem Plasma 10, das als Plasmastrahl 17 aus dem Brennerkörper 11 austritt, jedoch außerhalb der Plasmastrahlquelle 5 ein weiteres Precursor-Material 16 zugeführt. Dazu ist eine zusätzliche, den Plasmastrahl 17 konzentrisch umgebende Dusche 20 vorgesehen, die auch in eine am Ausgang der Plasmastrahlquelle 5, d. h. im Bereich des Austrittes des Plasmastrahles 17 aus dem Brennerkörper 11, angeordnete Düse integriert sein kann. Mit einem mit dieser Dusche 20 bzw. dieser Düse eingebrachten Precursor-Material 16 kann nachhaltig die Höhe und Art des Energietransfers vom Plasma 10 auf die Precursor-Materialien 16, 16' gesteuert werden, so daß unterschiedlich große Einlagerungen bzw. unterschiedlich strukturierte Einlagerungen in der abgeschiedenen Funktionsbeschichtung 18 realisierbar sind. Zur Steuerung dieses Energietransfers kann über die Dusche 20 dem Plasma weiter auch ein der Kühlung dienendes Quenchgas zugeführt werden.

Eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens

sieht in Abwandlung von Fig. 2 schließlich vor, auf eine axiale Injektion des ersten Precursor-Materials 16' in den Brennerkörper 11 zu verzichten, indem lediglich beispielsweise ein Edelgas wie Argon oder ein Reaktivgas wie Sauerstoff oder Wasserstoff in den Brennerkörper 11 als Injektorgas 15 eingeführt wird, das dann zunächst das Plasma 10 erzeugt, und dem dann außerhalb der Plasmastrahlquelle 5 ein oder mehrere Precursor-Materialien 16, beispielsweise in Form nanoskaliger oder mikroskaliger Pulver, über damit vermischte Trägergase mittels der konzentrischen Dusche 20 zugeführt werden.

Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist stets, daß eine Wechselwirkung des Plasmas 10 mit den zugeführten Precursor-Materialien 16, 16' eintritt, wobei diese an- oder aufgeschmolzen, verdampft oder zumindest oberflächlich aktiviert oder fragmentiert werden. Bevorzugt ist ein Aufschmelzen oder Fragmentieren bis auf atomare bzw. molekulare Ebene (Atomare, Moleküle, Radikale). Daneben kann diese Wechselwirkung auch in einer durch das Plasma 10 induzierten chemischen Reaktion des zugeführten Precursor-Materials 16, 16' mit einer ebenfalls zugeführten gasförmigen oder flüssigen Reaktionskomponente oder einem weiteren Precursor-Material bestehen.

Die Verfahrensparameter beim Betrieb der Plasmastrahlquelle 5, die der Fachmann im einzelnen für die jeweils abzuschneidende Funktionsbeschichtung über einfache Vorversuche ermitteln muß, sind die in das Plasma 10 eingekoppelte Leistung, die Art der Plasmaanregung im Brennerkörper 11, der Abstand zwischen der Austrittsöffnung des Brennerkörpers 11 und dem Substrat 12, die Art und Menge der zugeführten Precursor-Materialien 16, 16', sowie der Druck bei dem die Plasmastrahlquelle 5 betrieben wird. Insbesondere muß stets eine gewisse Mindestleistung in das Plasma 10 eingekoppelt werden, um eine erforderliche minimale Energiedichte zu gewährleisten, die dann wieder über Stöße und Strahlung an das schichtbildende Precursor-Material 16, 16' abgegeben wird. Außerdem kann über die Länge des Plasmastrahles 17 die Aufenthaltsdauer der eingebrachten Partikel bzw. Precursor-Materialien 16, 16' in den Plasmastrahl 17 beeinflusst werden, die wiederum während dieser Flugzeit Energie aus dem Plasmastrahl 17 aufnehmen. Erst wenn die Aufenthaltsdauer und damit die aufgenommene Energie ausreichend groß ist, ist beispielsweise ein vollständiges Aufbrechen eines eingebrachten Precursor-Materials 16, 16' bis auf die atomare oder molekulare Ebene gewährleistet.

Weitere Verfahrensparameter sind die Anzahl und Menge der zugeführten Precursor-Materialien 16, 16' und der Ort ihrer Zuführung, sowie die Art und Menge der eingesetzten Gase.

Die zugeführten Gase sind dabei entweder Inertgase wie Argon als Plasmagas bzw. Injektorgas 15 oder als Hüllgas 19, Trägergase wie Stickstoff oder Argon für die zugeführten Precursor-Materialien 16, 16', beispielsweise als Zentralgas 22, oder Reaktivgase wie Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Methan, Acetylen, Silan oder Wasserstoff als chemische Reagenz mit den zugeführten Precursor-Materialien 16, 16'. Rein organische gasförmige Verbindungen wie Acetylen oder Methan eignen sich besonders zu Abscheidung von amorphem Kohlenstoff.

Als Precursor-Materialien 16, 16' kommen weiter zunächst gasförmige organische, siliziumorganische oder metallorganische Verbindungen wie Hexamethylsilan (HMDS) oder Tetramethylsilan (TMDS), oder auch eine Mischung aus diesen Gasen in Frage. Daneben eignen sich Feststoffprecursoren, die als submikro- oder nanoskalige Partikel aus Metallen wie Chrom, Titan, Eisen, Aluminium, Zirkonium, Hafnium o. ä., aus Hartstoffen bzw. Keramiken aus der

Gruppe der Nitride, insbesondere der Bornitride, der Siliziumnitride oder der Metallnitride wie TiN, der Oxide wie Aluminiumoxid, Titandioxid oder Siliziumdioxid, der Carbide wie TiC, der Silizide oder der Siliziumverbindungen zugeführt werden.

Darüberhinaus können die Precursor-Materialien 16, 16' auch in flüssiger Form, insbesondere in Form von Suspensionen mit darin suspendierten nanoskaligen Partikeln aus obigen Materialklassen, zugeführt werden.

Im folgenden wird die erläuterte Erzeugung von Schichtsystemen als Funktionsbeschichtung 18 anhand einiger Beispiele im Detail näher ausgeführt.

Ein erstes Beispiel werden dem Plasmastrahl 17 mindestens zwei unterschiedliche Precursor-Materialien 16, 16' zugeführt, von denen das eine gasförmig oder flüssig ist und dem Plasma 10 über die Zuführung 13 zugeführt wird, und wobei das zweite als Feststoff in Form eines nanoskaligen Pulvers oder einer Suspension eines nanoskaligen Pulvers über die Dusche 20 eingebracht wird. Dabei wird das gasförmige oder flüssige Precursor-Material 16' in dem Plasmastrahl 17 chemisch modifiziert und bildet bei der Abscheidung auf dem Substrat 12 eine zumindest weitgehend amorphe Schicht als Matrixschicht, während das zweite Precursor-Material 16 in dem Plasmastrahl 17 teilweise aufgeschmolzen wird und damit in der Funktionsbeschichtung 18 als Einlagerung in der Matrixschicht vorliegt. Mit den beiden unterschiedlichen Precursor-Materialien 16, 16' sind somit unterschiedliche Prozesse innerhalb des Plasmas 10 verknüpft, die gleichzeitig oder auch aufeinander abgestimmt nacheinander ablaufen können.

Ein zweites Beispiel sieht, ansonsten analog dem ersten Beispiel, vor, als erstes Precursor-Material 16' flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe oder allgemein organische Ausgangsverbindungen einzusetzen, und als zweites Precursor-Material 16 Feststoffe aus Metallen oder Keramiken wie Ti, Cr, Ta, TiN, TiO<sub>2</sub>, BN, SiN, SiC, TiC, ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub> oder TaS<sub>2</sub> zu verwenden. Auf diese Weise lassen sich neuartige Funktionsbeschichtungen in Form von Verschleißschuttschichten, als Schichten zur Reibungsminderung, insbesondere in Form von Trockenschmierstoffen, oder für elektronische Anwendungen herstellen.

In einem dritten Beispiel werden mindestens drei Precursor-Materialien 16, 16' eingesetzt, von denen das erste gasförmig oder flüssig ist, das zweite als Feststoff in Form eines nanoskaligen Pulvers oder einer Suspension eines nanoskaligen Pulvers eingebracht wird, und von denen das dritte als Reaktivgas, gegebenenfalls gemeinsam mit dem Hüllgas 19, über die Gaszufuhr 21 in das Plasma 10 eingebracht wird. Dabei wird das gasförmige oder flüssige erste Precursor-Material 16' zusammen mit dem dritten Precursor-Material in dem Plasmastrahl 17 chemisch umgesetzt und bildet bei der Abscheidung auf dem Substrat 12 zunächst eine zumindest weitgehend amorphe Schicht als Matrixschicht, in die das zweite, analog dem vorstehenden Beispiel über die Dusche 20 zugeführte Precursor-Material 16 eingebettet ist.

Im einzelnen eignen sich dazu als erstes Precursor-Material flüssige oder gasförmige Siliziumverbindungen wie Silane oder Silizium-Kohlenwasserstoff-Verbindungen, als zweites Precursor-Material nanoskalige Feststoffe aus Keramiken wie TiN, TiO<sub>2</sub>, TaN, BN, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oder ZrO<sub>2</sub>, und als reaktives Plasmagas Stickstoff. Damit werden in besonders einfacher Weise neuartige superharte Funktionsbeschichtungen mit besonders hohen Schichthärten erzielt, beispielsweise eine nanoskalige TiN-Feststoffeinlagerung in einer dünnen Matrix aus einem demgegenüber elastischem Material wie Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Ein viertes Beispiel sieht vor, eine Hartstoffbeschichtung auf dem Substrat 12 zu erzeugen, indem dem Plasma 10 zu-

mindest zwei Feststoff-Precursoren 16, 16' in Form von Pulvern oder Suspensionen zugeführt werden, wobei sich diese Pulver in ihrer Teilchengröße unterscheiden. Im einzelnen wird als erstes Precursor-Material 16' ein nanoskaliges Pulver oder eine Suspension eines nanoskaligen Pulvers eingesetzt, das in dem Plasmastrahl 17 bis auf atomares Niveau aufgebrochen bzw. aufgeschmolzen und auf dem Substrat 12 als zumindest weitgehend amorphe Matrixschicht abgeschieden wird, und als zweites Precursor-Material 16 ein mikroskaliges Pulver oder eine Suspension eines mikroskaligen Pulvers eingesetzt, das in dem Plasmastrahl 17 nicht vollständig aufgeschmolzen und damit in Form nanokristalliner oder mikrokristalliner Partikel in die gleichzeitig erzeugte amorphe Matrix eingebettet wird. Als erstes Precursor-Material 16' eignet sich dazu beispielsweise nanoskaliges TiN, das über die Zuführung 13 zusammen mit dem Trägergas Argon eingebracht wird, während als zweites Precursor-Material 16 mikroskaliges WC mit dem Trägergas Stickstoff über die Dusche 20 eingesetzt wird. Auf diese Weise werden hochduktilen und verschleißfeste Hartstoff-Hartmetall-Schichten abgeschieden, wobei sich eine Matrix aus Ti<sub>x</sub>N<sub>y</sub> bildet, deren Zusammensetzung über die Prozeßbedingungen, insbesondere über die Gasflüsse steuerbar ist.

In einem fünften Beispiel werden dem Plasma 10 zumindest zwei Precursor-Materialien 16, 16' zugeführt, die sich hinsichtlich ihrer Verdampfungs- und Schmelztemperaturen unterscheiden. So wird beispielsweise erstes Precursor-Material 16' pulverförmiges Titan und als zweites Precursor-Material 16 pulverförmiges SiN eingesetzt, wobei jedoch das zugeführte Titan in dem Plasma 10 stärker aktiviert wird als SiN, so daß sich eine hochduktilen keramische Beschichtung mit - abhängig von den Prozeßbedingungen - metallischem, stark unterstöchiometrischem TiSi<sub>x</sub>N<sub>y</sub> mit x, y < 1 oder keramischem TiSiN als Matrixwerkstoff bildet.

Ein sechstes Beispiel sieht vor, daß als ein erstes Precursor-Material 16' über die Zuführung 13 dem Plasma 10 Acetylen oder Methan zugeführt wird, das in Form einer amorphen Kohlenstoff-Matrixschicht auf dem Substrat 12 Atom für Atom aufgebaut wird. Gleichzeitig wird als zweites Precursor-Material 16 über die Dusche 20 oder alternativ ebenfalls über die Zuführung 13 ein mikroskaliges oder nanoskaliges TiN-Pulver in das Plasma 10 eingebracht. Dabei wird die Oberfläche dieser Pulverpartikel lediglich angeschmolzen und gleichzeitig chemisch aktiviert, so daß sie als nanoskalige oder mikroskalige Kristallite in der gleichzeitig abgeschiedenen amorphen Matrixschicht, die als Skelett dient, eingebettet sind.

Die gleichzeitige Abscheidung einer Matrixschicht und darin eingebetteter Partikel als Funktionsbeschichtung 18 auf dem Substrat 12 mit der Plasmastrahlquelle 5 wird weiter in einem siebten Ausführungsbeispiel erläutert. Dazu wird beispielsweise über die Zuführung 13 als Precursor-Material 16' das Reaktivgas Sauerstoff eingesetzt, während über die Gaszufuhr 21 ein mikroskaliges oder nanoskaliges Metallpulver wie TiN-Pulver gemeinsam mit einem Trägergas in das erzeugte Sauerstoff-Plasma eingebracht wird. In diesem Plasma 10 bzw. in dem Plasmastrahl 17 wird somit von den TiN-Pulverpartikeln über hochenergetische Gasbestandteile einerseits das Metall, im konkreten Fall Titan, zumindest teilweise abgesputtert, das im weiteren mit dem zugeführten Sauerstoff zu einem Metalloxid bzw. einem Titanoxid reagiert. Gleichzeitig kann durch geeignete Wahl der Gasflüsse und des Abstandes von Brennerkörper 11 und Substrat 12 erreicht werden, daß auch noch angeschmolzene Reste des zugeführten Precursor-Materials 16' in Form von nanoskaligen oder mikroskaligen Kristalliten in die aufwachsende Matrixschicht eingebettet werden, so daß im konkreten Beispiel eine TiO<sub>2</sub>-Matrixschicht mit eingebette-

ten TiN-Kristalliten entsteht.

Weitere typische Beispiele für derartige, besonders harte Funktionsbeschichtungen 18 sind TiN-Partikel in einer Siliziumoxid-Matrix, oder Titanborid-, Titanoxid- oder Chromborid-Partikel in DLC (diamond-like carbon).

Im übrigen kann in Abwandlung des vorstehenden Beispiels das Precursor-Material auch als Gas oder Flüssigkeit in das Plasma 10 bzw. den Plasmastrahl 17 eingebracht werden, wobei dann in dem Plasma über Stöße und chemische Reaktionen der entstehenden Gas- oder Flüssigkeitsmoleküle Cluster oder Nanopartikel gebildet werden, die eine angeregte Oberfläche aufweisen, und sich damit sehr haften in die gleichzeitig abgeschiedene amorphe Matrixschicht einbetten werden.

Den vorstehend erläuterten Beispielen ist jeweils gemeinsam, daß in der Plasmastrahlquelle 5 durch induktiv eingekoppelte Hochfrequenz und unter Zufuhr eines Injektorgases 15 wie Sauerstoff, oder Wasserstoff in dem Brennerkörper 11 ein Plasma 10 erzeugt wird. Die eingekoppelte Leistung beträgt dabei typischerweise ca. 20 kW, der Druck ca. 200 mbar, der Gasfluß des Injektorgases 15 ca. 5 SLpM (standard liter per minute), der Fluß des optionalen Zentralgases 22 und des optionalen Hüllgases 19, für die beispielsweise Stickstoff, Argon oder Wasserstoff eingesetzt werden, ca. 20 bzw. 70 SLpM, und der Abstand zwischen der Austrittsöffnung des Brennerkörpers 11 und dem Substrat ca. 20 cm.

Daneben wird in dem Fall, daß ein gasförmiges Precursor-Material 16' über die Zuführung 13 eingeleitet wird, ein typischer Gasfluß von 5 SLpM eingesetzt.

Bei der Abscheidung von Kompositsschichten als Funktionsbeschichtung 18 hat sich weiter herausgestellt, daß dazu über Hochfrequenzeinkopplung angeregte Plasmen 10 gegenüber DC-Verfahren (Gleichstrom) wie beispielsweise Hochgeschwindigkeitsflammspritzen besonders geeignet sind. In diesem Fall ist die Verweildauer der dem Plasma 10 zugeführten Precursor-Materialien 16, 16' besonders lang, so daß damit eine hohe Effizienz der chemischen Modifikation oder des Aufschmelzens von in Form von Pulvern oder Suspensionen zugeführten Precursor-Materialien 16, 16' erreicht wird.

Da je nach Wahl des Injektorgases 15 eine chemische Reaktion dieses Gases mit den Precursor-Materialien 16, 16' und/oder ein Aufschmelzen der Precursor-Materialien 16, 16' stattfindet, kann über die Wahl des Injektorgases 15 die Zusammensetzung der Funktionsbeschichtung 18 besonders einfach gezielt beeinflußt werden.

Schließlich sei betont, daß die vorstehenden Ausführungsbeispiele nicht beschränkt sind hinsichtlich der konkreten Form der Precursor-Materialien 16 bzw. 16'. Diese können gasförmig, flüssig oder pulverförmig sein, und auch aus einer Mischung verschiedener Precursor-Materialien bestehen. So kann das Precursor-Material 16, 16' beispielsweise Isopropanol oder Aceton sein und sich in dem Plasmastrahl 17 bzw. dem Plasma 10 chemisch umsetzen oder mit dem Injektorgas 15 reagieren. Dabei ist auch eine zusätzliche Zufuhr einer Suspension, eines Pulvers oder einer Pulvermischung als Precursor-Material 16 über die Dusche 20 oder die Zuführung 13 in den Plasmastrahl 17 oder das Plasma 10 möglich.

Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung sehen vor, die vorstehenden Ausführungsbeispiele zur Erzeugung der Funktionsbeschichtung 18 mit einer Abscheidung mit einem herkömmlichen CVD-Prozeß (chemical vapour deposition) oder einem herkömmlichen PVD-Prozeß (physical vapour deposition) zu kombinieren. Dazu wird eine separat ansteuerbare CVD- oder PVD-Vorrichtung zumindest zeitweise gemeinsam oder alternierend mit der Plasmastrahlquelle 5

zur Abscheidung der Funktionsbeschichtung 18 betrieben. Damit läßt sich beispielsweise über die CVD-Vorrichtung in bekannter Weise eine amorphe Matrix-Schicht auf dem Substrat 12 abscheiden, in der mittels der Plasmastrahlquelle 5 in den vorstehend erläuterten Weisen über zugeführte Precursor-Materialien Einlagerungen erzeugt werden.

So kann beispielsweise ein CVD-Prozeß kontinuierlich betrieben werden, während lediglich zeitweise die Plasmastrahlquelle 5 zugeschaltet wird, oder umgekehrt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Funktionsbeschichtungen, insbesondere von Kompositsschichten oder Metalllegierungen, auf einem Substrat (12) mit mindestens einer im Feinvakuum bis zum atmosphärennahen Druckbereich betreibbaren Plasmastrahlquelle (5), die ein Plasma (10) erzeugt, das in Form eines Plasmastrahles (17) aus der Plasmastrahlquelle (5) austritt und auf das Substrat (12) einwirkt, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Plasma (10) mindestens zwei Precursor-Materialien (16, 16') zugeführt werden, die in dem Plasmastrahl (17) modifiziert oder aufgeschmolzen und danach auf dem Substrat (12) abgeschieden werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Precursor-Materialien (16, 16') in dem Plasmastrahl (17) zumindest teilweise ionisiert und/oder chemisch aktiviert wird, und/oder daß mindestens ein Precursor-Material (16, 16') in dem Plasma (10) einer chemischen Reaktion unterzogen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in die Plasmastrahlquelle (5) über mindestens eine Zuführung (13) ein Gas (15, 19, 22) eingeleitet wird, wobei das Gas (15, 19, 22) ein Trägergas für ein Precursor-Material (16, 16'), insbesondere Stickstoff, ein Inertgas, insbesondere Argon, ein Reaktivgas für eine chemische Reaktion mit einem Precursor-Material (16, 16'), insbesondere Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Silan, Acetylen, Methan oder Wasserstoff, ein gasförmiges Precursor-Material (16'), oder eine Mischung aus diesen Gasen ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß in die Plasmastrahlquelle (5) ein das Plasma (10) zumindest teilweise umgebendes Hüllgas (19), insbesondere ein Inertgas wie Argon, eingeleitet wird.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Precursor-Material (16, 16') eine organische, eine siliziumorganische oder eine metallorganische Verbindung ist.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Precursor-Material (16, 16') dem Plasma (10) in gasförmiger oder flüssiger Form, als mikro- oder nanoskalige Pulverpartikel, als flüssige Suspension, insbesondere mit darin suspendierten mikro- oder nanoskaligen Partikeln, oder als Mischung von gasförmigen oder flüssigen Stoffen mit Feststoffen zugeführt wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Precursor-Material (16) über eine außerhalb der Plasmastrahlquelle (5) angeordnete, den Plasmastrahl (17) insbesondere konzentrisch umgebende Dusche (20) oder mittels einer in einer Umgebung des Austrittes des Plasmastrahles (17) aus der Plasmastrahlquelle (5) angeordnete Düse dem Plasmastrahl

(17) zugeführt wird.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Substrat (12) eine zumindest weitgehend amorphe Matrixschicht mit darin enthaltenen nanoskaligen oder mikroskaligen Einlagerungen oder Kristalliten abgeschieden wird.

9. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Plasma (10) zumindest zeitweilig ein erstes und ein zweites Precursor-Material (16, 16') zugeführt werden, wobei das erste Precursor-Material ein nanoskaliges Pulver oder eine Suspension eines nanoskaligen Pulvers ist, und wobei das zweite Precursor-Material ein mikroskaliges Pulver oder eine Suspension eines mikroskaligen Pulvers ist.

10. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Plasma (10) zumindest zeitweilig ein erstes Precursor-Material und ein zweites Precursor-Material zugeführt werden, wobei das erste Precursor-Material gasförmig oder flüssig ist und nach der Abscheidung auf dem Substrat (12) eine zumindest weitgehend amorphe Schicht bildet, und wobei das zweite Precursor-Material ein nanoskaliges Pulver oder eine Suspension eines nanoskaligen Pulvers ist.

11. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Beschichtung (18) auf dem Substrat (12) eine Schicht oder eine Abfolge von Schichten abgeschieden wird, die aus einem Metallsilizid, einem Metallcarbid, Siliziumcarbid, einem Metalloxid, einem Siliziumoxid, einem Metallnitrid, Siliziumnitrid, einem Metallborid, einem Metallsulfid, amorphem Kohlenstoff, einer Kohlenwasserstoff-Verbindung oder aus einer Mischung dieser Materialien besteht.

12. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über eine zeitliche Veränderung der Zusammensetzung mindestens eines Precursor-Materials (16, 16') eine Abfolge von Schichten als Beschichtung (18) auf dem Substrat (12) abgeschieden wird.

13. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Precursor-Material (16, 16') eine organische Ausgangsverbindung, insbesondere ein flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoff ist, und daß ein zweites Precursor-Material ein insbesondere pulverförmiger oder ein in einer Flüssigkeit suspendierter metallischer oder keramischer Feststoff ist.

14. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein erstes Precursor-Material (16, 16') eine flüssige oder gasförmige Siliziumverbindung, insbesondere ein Silan, oder eine Silizium-Kohlenwasserstoff-Verbindung ist, daß mindestens ein zweites Precursor-Material (16, 16') einen nanoskaligen keramischen Feststoff, insbesondere TiN, TiO<sub>2</sub>, TaN, BN, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oder ZrO<sub>2</sub>, enthält, und daß dem Plasma (10) als reaktivgas Stickstoff zugeführt wird.

15. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Precursor-Materialien (16, 16') in Form eines Pulvers oder einer Suspension zugeführt werden, die sich in der mittleren Größe der Pulverteilchen oder der in der Suspension suspendierten Teilchen unterscheiden.

16. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden

den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Precursor-Material ein nanoskaliges Pulver oder eine Suspension eines nanoskaligen Pulvers ist, das auf dem Substrat (12) als zumindest weitgehend amorphe Matrixschicht abgeschieden wird, und daß ein zweites Precursor-Material ein mikroskaliges Pulver oder eine Suspension eines mikroskaligen Pulvers ist, das in dem Plasma (10) nicht vollständig aufgeschmolzen und in Form nanokristalliner oder mikrokristalliner Partikel in der amorphen Matrixschicht eingebettet abgeschieden wird.

17. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Precursor-Material nanoskaliges, pulverförmiges TiN und ein zweites Precursor-Material mikroskaliges, pulverförmiges WC enthält, wobei als Trägergase Stickstoff und/oder Argon eingesetzt werden.

18. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das nanoskalige Precursor-Material dem Plasma (10) über die Zuführung (13) zugeführt wird, und daß das mikroskalige Precursor-Material dem Plasma (10) über die Dusche (20) zugeführt wird.

19. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, eine Funktionsbeschichtung (18) abgeschieden wird, die eine Matrixschicht mit Einlagerungen aufweist, wobei die Matrixschicht aus gegenüber den Einlagerungen elastischerem Material, insbesondere über- oder unterstöchiometrischem Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, besteht.

20. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Plasma (10) mindestens zwei Precursor-Materialien (16, 16') zugeführt werden, die sich hinsichtlich ihrer Verdampfungstemperatur und/oder Schmelztemperatur unterscheiden.

21. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Funktionsschicht (18) mit der Plasmastrahlquelle (5) zumindest zeitweilig unter Zuschaltung eines CVD-Prozesses, eines PVD-Prozesses oder eines PACVD-Prozesses, insbesondere zur Abscheidung einer amorphen Matrixschicht, erfolgt, oder daß die Erzeugung der Funktionsschicht (18) mit einem CVD-Prozeß, einem PVD-Prozeß oder einem PACVD-Prozesses erfolgt, dem zumindest zeitweilig eine Abscheidung mit der Plasmastrahlquelle (5) zugeschaltet wird.

22. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmastrahlquelle (5) und eine für den CVD-Prozeß, den PVD-Prozeß oder den PACVD-Prozeß vorgesehene separate Abscheidevorrichtung kontinuierlich betrieben werden, wobei das Substrat (12) zwischen der Plasmastrahlquelle (5) und der Abscheidevorrichtung bewegt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



